



**Diseño e implementación de protocolos para la medición de campos
electromagnéticos no ionizantes (CEM-NI) en ambientes domésticos
sometidos a fuentes externas de radiación.**

Andrés Felipe Ramírez Gaviria
Sebastián Rivera Hernández

Universidad Tecnológica de Pereira

Facultad de ingenierías

Programa de ingeniería física

Pereira – Risaralda

2019



**Diseño e implementación de protocolos para la medición de campos
electromagnéticos no ionizantes (CEM-NI) en ambientes domésticos
sometidos a fuentes externas de radiación.**

Andrés Felipe Ramírez Gaviria
Sebastián Rivera Hernández

Trabajo de grado para optar al título de ingeniero físico.

Director: Luis Enrique Llamosa Rincón
Dir. Grupo de investigación de electrofisiología
Universidad Tecnológica de Pereira.

Universidad Tecnológica de Pereira

Facultad de ingenierías

Programa de ingeniería física

Pereira – Risaralda

2019



CONTENIDO

1. RESUMEN.....	3
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACION.....	4
2. JUSTIFICACIÓN EN TÉRMINOS DE NECESIDADES Y PERTINENCIA ...	5
3. OBJETIVOS.....	7
3.1. OBJETIVO GENERAL	7
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
4. METODOLOGÍA	8
5. MARCO TEÓRICO	10
5.1. TÉRMINOS Y DEFINICIONES.....	10
5.2. LÍMITES DE EXPOSICIÓN	20
5.3. INCERTIDUMBRES DE MEDICIÓN	24
6. DESARROLLO DEL PROYECTO DE GRADO	26
7. PROCESO DE SELECCIÓN DE LOS HOGARES	27
8. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN UTILIZADOS	29
9.1 MEDIDOR DE CAMPO DE BANDA ANCHA NBM 520.....	29
9.2 PROBADOR DE NIVELES DE EXPOSICIÓN ELT 400	30
9.3 ANALIZADOR DE ESPECTRO AARONIA NF-5010.....	31
9.4 ANALIZADOR DE ESPECTRO AARONIA HF-6085.....	33
9. PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE CEM –NI	34
10. PROCESAMIENTO DE DATOS.....	36
11. ANÁLISIS DE RESULTADOS	37
11.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS CASA 1	37
11.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS CASA 2	37
11.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS CASA 3	38
11.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS CASA 4	38
11.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS CASA 5	39
11.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS CASA 6	39
11.7. ANÁLISIS DE RESULTADOS CASA 7	39
11.8. ANÁLISIS DE RESULTADOS CASA 8	40
11.9. ANÁLISIS DE RESULTADOS CASA 9	40
11.10. ANÁLISIS DE RESULTADOS CASA 10.....	41
11.11. TABLA DE RESULTADOS	41



12.	CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES	42
13.	BIBLIOGRAFÍA.....	43



1. RESUMEN

El desarrollo exponencial de los dispositivos y redes de telecomunicación y transmisión eléctrica traen consigo el aumento de los niveles de exposición a campos electromagnéticos no ionizantes (CEM-NI) de altas y bajas frecuencias, los cuales han sido científicamente catalogados como posibles causantes de alteraciones funcionales en las células según estudios realizados por la organización mundial de la salud OMS y diversas instituciones de radio – protección no ionizante alrededor del mundo. Los CEM-NI son los principales actores del electro-smog o electro-contaminación en las zonas urbanas donde se encuentran las mayores densidades poblacionales. En este proyecto se diseñaron e implementaron protocolos de medición que permitan verificar los niveles de exposición a los CEM-NI en ambientes familiares que están sometidos a fuentes externas de radiación, acorde a las normas y recomendaciones existentes a nivel nacional e internacional a través de un estudio piloto realizado en la ciudad de Pereira sobre una muestra de 10 hogares identificados como posibles lugares de riesgo. Los protocolos diseñados e implementados, partieron del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE), la normatividad dada por la Agencia Nacional del Espectro (ANE), las recomendaciones y técnicas mencionadas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), la Comisión Internacional para la Protección de Radiación No Ionizante (ICNIRP) y el código de seguridad 6 para radiofrecuencia Canadiense. Ellos establecen los límites de exposición en zonas de rebasamiento, zonas ocupacionales y zonas de público en general con sugerencias para la medición de este tipo de radiaciones electromagnéticas. Los procedimientos necesarios para el cálculo de incertidumbre en los procesos de medición de CEM-NI, se establecieron con base en las normas y procedimientos dados por la GUM y GTC-51 (guías para la expresión de incertidumbres). El estudio piloto se llevó a cabo haciendo uso de equipos de medición de banda ancha Narda NBM 520 y ELT 400 y de banda angosta AARONIA SPECTRAM HF 6085 y NF 5010 con los que cuenta el grupo de investigación de electrofisiología de la universidad tecnológica de Pereira, los cuales permiten medir variables características de los CEM-NI como: el campo eléctrico, la densidad de flujo e intensidad magnética, la densidad de potencia la tasa de exposición y el espectro electromagnético. Los resultados arrojados por la implementación de los protocolos en la muestra de 10 hogares indican que los límites de exposición a CEM-NI tanto de bajas como de altas frecuencia no son superados y no se considera un riesgo potencial para las personas que habitan en ellos.



1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACION.

Con el desarrollo de las telecomunicaciones y redes de transmisión eléctrica, las personas en su vida cotidiana se encuentran altamente expuestas y de manera prolongada a campos electromagnéticos no ionizantes (CEM-NI) de altas y bajas frecuencias, lo que ha hecho que se aumente el interés mundial sobre la incidencia y los efectos biológicos sobre la salud humana. Para ello es necesario empezar por conocer de manera adecuada, cuál es el nivel de exposición al que las personas están sometidos a este tipo de radiaciones. Existe gran variedad de fuentes externas de radiación como antenas de telecomunicaciones, subestaciones eléctricas y transformadores cerca de los lugares habitados por personas, por lo cual se hace necesario contar con procedimientos de medición adecuados, basados en normas y recomendaciones nacionales e internacionales; de la misma manera se hace necesario conocer cuál es la situación en ciudades como Pereira, en las que se podría afirmar que existe una alta contaminación electromagnética debida a la gran variedad de fuentes externas de radiación. Con base en los planteamientos anteriores se proponen las siguientes preguntas de investigación:

¿Cómo diseñar e implementar protocolos de medición que nos permitan verificar y certificar los niveles de radiación electromagnética no ionizante de altas y bajas frecuencias en ambientes domésticos sometidos a fuentes externas de radiación?

¿Qué equipos de medición y que normatividad nacional o internacional se deben tener en cuenta para realizar el diseño de protocolos que permitan medir y certificar los niveles de intensidad de CEM-NI de altas y bajas frecuencias provenientes de fuentes externas en ambientes domésticos?



2. JUSTIFICACIÓN EN TÉRMINOS DE NECESIDADES Y PERTINENCIA

El desarrollo de las telecomunicaciones, redes de transmisión eléctrica y dispositivos electrónicos intrínsecamente conforman fuentes de radiación electromagnética no ionizante a los que el ser humano se encuentra constantemente expuesto. Es por ello que muchas organizaciones e instituciones en el mundo adelantan investigaciones sobre los efectos de dichos campos electromagnéticos sobre la salud, tal es el caso de la ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) comisión internacional especializada en protección contra la radiación no ionizante, la cual desarrolla actividades que incluyen determinar límites de exposición para campos electromagnéticos generados y utilizados por dispositivos como: computadoras, teléfonos celulares, antenas de telecomunicación entre otros; trabaja de manera conjunta con la OMS (Organización Mundial de la Salud). Estas dos organizaciones tienen la responsabilidad de crear y difundir recomendaciones para los límites máximos de exposición de CEM-NI en aras de salvaguardar la salud personal y del entorno.

En Colombia el estudio de los efectos de los CEM-NI es un tema reciente y aún más en el campo de la radiación sobre ambientes domésticos, lugares en los cuales la radiación no ionizante es habitual, prolongada y constante. Aunque se conoce la normativa internacional, al respecto existen pocas entidades en el país capaces de verificar y certificar los niveles de exposición a los cuales se hace referencia. Debido a esta problemática se plantea este proyecto ya que tiene como propósito principal la medición, verificación y certificación de campos electromagnéticos no ionizantes en ambientes familiares.

Durante los últimos años la línea de investigación en Metrología Electromagnética del grupo de Electrofisiología ha estado activa y ha logrado consolidarse gracias al desarrollo de proyectos de investigación financiados por la vice-rectoría de investigaciones de la Universidad Tecnológica de Pereira; de trabajos de grado a nivel de pregrado, postgrado y trabajos de jóvenes investigadores, con base en todo este trabajo el grupo cuenta con una



infraestructura en equipos de medición de campos electromagnéticos de alta y baja frecuencia incluyendo analizadores de espectro.

Este proyecto forma parte del macro-proyecto del grupo de electrofisiología de la Universidad Tecnológica de Pereira que pretende “acreditar” un laboratorio de metrología electromagnética que mida, verifique y certifique los niveles de intensidad de campos electromagnéticos no ionizantes con base en las normas NTC-ISO/IEC 17025 (Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración), NTC-ISO/17020 (Criterios generales para la operación de Varios tipos de organismos de inspección) y la normatividad nacional e internacional que establece recomendaciones para límites de exposición y medición de este tipo de radiaciones.



3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar protocolos para la medición y verificación de campos electromagnéticos no ionizantes (CEM-NI) en ambientes domésticos sometidos a fuentes externas de radiación con base en las normas y recomendaciones nacionales e internacionales existentes y realizar un estudio piloto en la ciudad de Pereira para la implementación de estos protocolos.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisar y analizar información bibliográfica referida a campos electromagnéticos no ionizantes, las normas y recomendaciones nacionales e internacionales existentes para su límite de exposición y su medición.
- Diseñar protocolos de medición de campos electromagnéticos no ionizantes de altas y bajas frecuencias con base en las normas y recomendaciones nacionales e internacionales revisadas, incluyendo el cálculo correspondiente a la incertidumbre de medición.
- Implementar los protocolos de medición de campos electromagnéticos no ionizantes de altas y bajas frecuencias diseñados en un estudio piloto sobre una muestra de 10 hogares vulnerables de la ciudad de Pereira.
- Verificar los niveles de intensidad de campos electromagnéticos no ionizantes sobre el estudio piloto realizado frente a las normas y recomendaciones nacionales e internacionales vigentes.
- Escribir el informe final del trabajo mostrando la metodología implementada, los resultados obtenidos y conclusiones en la realización del estudio piloto realizado en la ciudad de Pereira.



4. METODOLOGÍA

El trabajo de investigación se realizó en un periodo de 6 meses, en los cuales los estudiantes hicieron una revisión y recopilación bibliográfica acerca de los protocolos, artículos científicos, normas y recomendaciones sobre la medición, verificación y certificación de campos electromagnéticos no ionizantes de altas y bajas frecuencias a nivel nacional e internacional, con el fin de conocer los niveles máximos de exposición establecidos para estas radiaciones. Posteriormente, se estudió y se aprendió el correcto funcionamiento y conocimiento de las características de los equipos de medición para los CEM-NI presentes en el grupo de electrofisiología de la universidad tecnológica de Pereira como los analizadores de espectro ARAONIA SPECTRAN NF-5010 y ARAONIA SPECTRAN HF-6085 para bajas y altas frecuencias respectivamente, el medidor de radiaciones electromagnéticas de baja frecuencia NARDA - ELT-400 y de alta frecuencia NBM-NARDA 520. El cálculo de las mediciones realizadas con estos dispositivos tomará como fundamento las normas GTC-51 y GUM que corresponden a guías para la estimación de incertidumbre en las medidas utilizadas a nivel nacional e internacional respectivamente, las cuales servirán como base para el cálculo de incertidumbres del protocolo de medición a diseñarse en este proyecto, no sin antes conocer el estado de calibración y certificación de los instrumentos de medida.

Ya familiarizados con las normas y recomendaciones sobre los niveles de exposición a CEM-NI y conociendo la certificación y funcionalidad de los instrumentos de medida, se procedió al diseño de los protocolos de medición que se implementaron en una muestra seleccionada de 10 hogares de la ciudad de Pereira expuestos a fuentes externas de radiación electromagnética no ionizante. La distancia, el número, las frecuencias de operación y las características de las fuentes externas de radiación electromagnética no ionizante fueron algunos de los parámetros en consideración para la selección de la muestra de 10 hogares en la ciudad de Pereira, para poder realizar el estudio piloto que implementó los protocolos de medición diseñados en las



etapas preliminares, también, se debió contar con el respectivo consentimiento de los propietarios para proceder a la toma de lecturas en sus hogares.

Una vez obtenidas las lecturas de los CEM-NI producto del estudio piloto realizado sobre la muestra de 10 hogares de la ciudad de Pereira, se analizaron y procesaron los datos, calculando su respectiva incertidumbre utilizando el protocolo de medición elaborado por los autores, también se verificará que los niveles de intensidad de los CEM-NI estén dentro de los límites establecidos por las normas nacionales e internacionales investigadas en la etapa inicial de la realización de este proyecto, finalmente, se redactó un informe final técnico mostrando la metodología, resultados y conclusiones de la realización del proyecto para cumplir con la totalidad de los objetivos y realizar un aporte en la medición, verificación y certificación de los niveles de exposición a campos electromagnéticos no ionizantes en la ciudad de Pereira.



5. MARCO TEÓRICO

Este apartado del documento, tiene la finalidad de recopilar los conceptos y procedimientos necesarios para la medición y verificación de los niveles de exposición a campos electromagnéticos no ionizantes CEM –NI.

5.1. TÉRMINOS Y DEFINICIONES

Ganancia de la antena: La ganancia de antena $G(\theta, \varphi)$ es la relación entre la potencia radiada por unidad de ángulo sólido multiplicado por 4π y la potencia de entrada total. La ganancia se expresa frecuentemente en decibelios con respecto a una antena isótropa (dBi). La ecuación que define la ganancia es:

$$G(\theta, \varphi) = \frac{4\pi}{P_{in}} \frac{dPr}{d\Omega}$$

θ, φ Son los ángulos en un sistema de coordenadas polares.

Pr Es la potencia radiada a lo largo de la dirección (θ, φ)

P_{in} Es la potencia de entrada total.

Ω Ángulo sólido elemental a lo largo de la dirección de observación.

Potencia media temporal (P_{avg}): Corresponde a la tasa de transferencia de energía promediada en un intervalo de tiempo, se define como:

$$P_{avg} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt$$

Donde t_1 y t_2 son respectivamente los instantes inicial y final de exposición. El periodo $t_2 - t_1$ es el tiempo de exposición.

Tiempo de promediación (T_{avg}): El tiempo de promediación es el periodo de tiempo apropiado en el que se promedia la exposición con el fin de determinar el cumplimiento de los límites.

Tasa de exposición: Es el parámetro de exposición evaluado en una localización concreta para cada frecuencia de funcionamiento de una fuente radioeléctrica, expresado como la fracción del límite correspondiente.



RANGO DE FRECUENCIAS	CÁLCULO DE LA TASA DE EXPOSICIÓN
9KHz – 10 MHz	$ER = MAX \left[\left(\frac{E}{EL} \right), \left(\frac{H}{HL} \right) \right]$
100 KHz – 300 GHz	$ER = MAX \left[\left(\frac{E}{EL} \right)^2, \left(\frac{H}{HL} \right)^2 \right]$
10 MHz – 300 GHz	$ER = \left(\frac{S}{SL} \right)$

Tabla 1. Cálculo de tasas de exposición para diferentes rangos de frecuencia.

ER: Es la tasa de exposición en cada frecuencia de funcionamiento de la fuente.

EL: Es el límite de campo eléctrico de investigación en la frecuencia f.

HL: Es el límite de campo magnético de investigación en la frecuencia f.

SL: Es el límite de la densidad de potencia de onda plana equivalente en la frecuencia f.

E: Es el campo eléctrico evaluado en la frecuencia f de la fuente.

H: Es el campo magnético evaluado en la frecuencia f de la fuente.

S: Es la densidad de potencia de onda plana equivalente evaluada en la frecuencia f de la fuente.

F: es la frecuencia de funcionamiento de la fuente de radiación electromagnética.

Fuente pertinente: Fuente radioeléctrica que, en un punto de medición dado, tiene una tasa de exposición superior a 0,05.

Valor cuadrático medio (rms): Valor efectivo o valor rms obtenido extrayendo la raíz cuadrada de la media del cuadrado del valor de la función periódica extraída durante un periodo.

Tasa de exposición total (TER): Valor máximo de la suma de tasas de exposición del equipo sometido a prueba y todas las fuentes pertinentes en la gama de frecuencias comprendida entre 9 KHz y 300 GHz.

$$TER = ER_{EUT} + ER_{RS}$$

ER_{EUT}: Es la tasa de exposición evaluada del equipo sometido a prueba.

ER_{RS}: Es la tasa de exposición evaluada de todas las fuentes pertinentes.

Exposición continua: Se define como la exposición durante un tiempo superior al correspondiente tiempo de promediación. La exposición durante un tiempo inferior al de promediación se denomina exposición de corta duración.



Corriente de contacto: La corriente de contacto es la corriente que circula por el cuerpo al tocar un objeto conductor en un campo electromagnético.

Sistema de medición de banda ancha: conjunto de elementos para medir campos electromagnéticos que ofrece una lectura de la variable electromagnética considerando el efecto combinado de todas las componentes de frecuencia que se encuentran dentro de su ancho de banda especificado.

Sistema de medición de banda angosta: conjunto de elementos que permite medir de forma selectiva en frecuencia, el cual permite conocer la magnitud de la variable electromagnética medida (intensidad de campo eléctrico, magnético o densidad de potencia), debida a una componente de frecuencia o a una banda muy estrecha de ellas.

Sonda: elemento transductor que convierte energía electromagnética en parámetros eléctricos medibles mediante algún instrumento. Puede ser una antena o algún otro elemento que tenga la capacidad descrita.

Sondas isotrópicas: son las que detectan y miden la radiación que proviene de todas las direcciones en el espacio simultáneamente.

Sonda direccional: son las que detectan y miden la radiación que proviene de sólo una dirección, normalmente especificada por la orientación de la sonda.

Exposición controlada/ocupacional: La exposición controlada/ocupacional se aplica a situaciones en las que las personas están expuestas como consecuencia de su trabajo y en las que las personas expuestas han sido advertidas del potencial de exposición de exposición y puede ejercer control sobre la misma. La exposición controlada/ocupacional también se aplica cuando la exposición es de naturaleza transitoria, resultado del paso ocasional por un lugar en que los límites de exposición puedan ser superiores a los límites no controlados, para la población en general, ya que la persona expuesta ha sido advertida del potencial de exposición y puede controlar esta, abandonando la zona o por algún otro medio apropiado.

Directividad: La directividad es la relación entre la potencia radiada por unidad de ángulo sólido y la potencia media radiada por unidad de ángulo sólido.

Potencia radiada isotropa equivalente (EIRP): La EIRP es el producto de la potencia suministrada a la antena y la máxima ganancia de antena con relación a una antena isotropa.

Potencia equivalente radiada (PER) – Potencia radiada aparente (PRA): Es el producto de la potencia suministrada a la antena por su ganancia en relación a una antena dipolo de media longitud de onda en una dirección dada.

Exposición: Se produce exposición siempre que una persona está sometida a campos eléctricos, magnéticos o electromagnéticos, o a corrientes de contacto



distintas de las originadas por procesos fisiológicos en el cuerpo o por otros fenómenos naturales.

Nivel de exposición: El nivel de exposición es el valor de la magnitud utilizada cuando una persona está expuesta a campos electromagnéticos o a corrientes de contacto.

Exposición no uniforme/exposición corporal parcial: Los niveles de exposición no uniforme/exposición corporal parcial se producen cuando los campos son no uniformes en volúmenes comparables al del cuerpo humano completo, lo cual puede deberse a fuentes altamente direccionales con ondas estacionarias, radiación dispersa o en el campo cercano.

Región de campo lejano: La región del campo de una antena donde la distribución de campo angular es esencialmente independiente de la distancia con respecto a la antena. En la región de campo lejano el campo es predominantemente del tipo onda plana, es decir, distribución localmente uniforme de la intensidad de campo eléctrico y de la intensidad de campo magnético en planos transversales a la dirección de propagación.

Corriente inducida: Corriente que se induce dentro del cuerpo de resultados de la exposición directa a los campos eléctricos, magnéticos o electromagnéticos.

Región de campo cercano: La región de campo cercano existe en las proximidades de una antena u otra estructura radiante en la que los campos eléctricos y magnéticos no son sustancialmente de tipo onda plana, sino que varían considerablemente de punto a punto. La región de campo cercano se subdivide todavía en la región de campo cercano reactivo, que es más próxima a la estructura radiante y que contiene la mayor parte o casi la totalidad de la energía almacenada, y la región de campo cercano radiante, en la que el campo de radiación predomina sobre el campo reactivo, pero que no es sustancialmente de tipo onda plana y tiene una estructura complicada.

NOTA: En muchas antenas, la frontera exterior del campo cercano reactivo se supone que se halla a una distancia de media longitud de onda de la superficie de la antena.

Densidad de potencia (S): La densidad de flujo de potencia es la potencia por unidad de superficie normal a la dirección de la propagación de las ondas electromagnéticas, y suele expresarse en unidades de vatios por metro cuadrado $\frac{W}{m^2}$.

NOTA : En las ondas planas, la densidad de flujo de potencia, la intensidad de campo eléctrico (E) y la intensidad de campo magnético (H) están relacionadas con la impedancia intrínseca del espacio libre, $n_0 = 377\Omega$. En particular,

$$S = \frac{E^2}{n_0} = n_0 H^2 = EH$$



Donde E y H se expresan en unidades de V/m y A/m , respectivamente, y S en unidades de W/m^2 . Aunque muchos instrumentos indican unidades de densidad de potencia, las magnitudes reales medidas son E o H .

Densidad de potencia media (temporal): La densidad de potencia media es igual a la densidad de potencia instantánea integrada a lo largo de un periodo de repetición de origen.

NOTA: Esta promediación no debe confundirse con el tiempo de promediación de medición.

Densidad de potencia de cresta: La densidad de potencia de cresta es la máxima densidad de potencia instantánea que se produce cuando se transmite potencia.

Densidad de potencia de onda plana equivalente (Seq): La densidad de potencia de onda plana equivalente es un término que suele utilizarse asociado con cualquier onda electromagnética, de igual magnitud que la densidad de flujo de potencia de una onda plana que tiene la misma intensidad de campo eléctrico (E) o magnético (H).

Diagrama de campo relativo: El diagrama de campo $f(\theta, \varphi)$ relativo se define en esta Recomendación como la relación entre el valor absoluto de la intensidad de campo (que arbitrariamente se supone que es el campo eléctrico) y el valor absoluto de la intensidad de campo máxima. Está relacionado con la ganancia numérica relativa.

$$f(\theta, \varphi) = \sqrt{F(\theta, \varphi)}$$

Ganancia numérica relativa: La ganancia numérica relativa $F(\theta, \varphi)$ es la relación entre la ganancia de antena en cada ángulo y la ganancia de antena máxima. Es un valor que varía de 0 a 1. Se denomina también diagrama de antena.

Exposición de corta duración: El término exposición de corta duración designa la exposición de duración inferior al correspondiente tiempo de promediación.

Absorción específica SA: La absorción específica es el cociente de la energía incremental dW absorbida por (disipada en) una masa incremental dm contenida en un elemento de volumen dV de una densidad dada ρm .

$$SA = \frac{dW}{dm} = \frac{1}{\rho m} \frac{dW}{dV}$$

La absorción específica se expresa en unidades de julios por kilogramo $\frac{J}{Kg}$.



Tasa de absorción específica (SAR): La derivada en el tiempo de la energía incremental dW absorbida por (disipada en) una masa incremental dm contenida en un elemento de volumen dV de una densidad de masa dada ρm .

$$SAR = \frac{d}{dt} \frac{dW}{dm} = \frac{d}{dr} \frac{1}{\rho m} \frac{dW}{dV}$$

SAR se expresa en unidades de vatios por kilogramo $\frac{W}{Kg}$.

SAR puede calcularse por:

$$SAR = \frac{\sigma E^2}{\rho m}$$

$$SAR = c \frac{dT}{dt}$$

$$SAR = \frac{J^2}{\rho m \sigma}$$

Donde:

E Es el valor de la intensidad de campo eléctrico en el tejido corporal en $\frac{V}{m}$

σ Es la conductividad del tejido corporal en $\frac{S}{m}$

ρm es la densidad del tejido corporal en $\frac{kg}{m^3}$

c es la capacidad térmica del tejido corporal en $\frac{J}{kg * ^\circ C}$

$\frac{dT}{dt}$ Es la derivada en el tiempo de la temperatura del tejido corporal en $\frac{^\circ C}{s}$

J Es el valor de la densidad de corriente inducida en el tejido corporal en $\frac{A}{m^2}$

Exposición no controlada de la población general: La exposición no controlada de la

Población general se aplica a situaciones en las que el público en general puede estar expuesto o en las que las personas expuestas como consecuencia de su trabajo pueden no haber sido advertidas del potencial de exposición y no pueden ejercer control sobre la misma.

Emisores no intencionales: Los transmisores no intencionales pueden producir EMF debido a emisiones espurias. Hay normas de emisión de compatibilidad electromagnética (EMC, *electromagnetic compatibility*) que limitan la magnitud de estos campos espurios. Los campos producidos por equipo de telecomunicaciones como es un emisor no intencional, suelen estar apreciablemente por debajo de los límites de seguridad establecidos por las normas de la ICNIRP y las normas nacionales. Los límites establecidos de conformidad EMC están a órdenes de magnitud por debajo de los límites de seguridad del EMF. Aunsi el equipo sobrepasa los límites de emisión a ciertas frecuencias, la experiencia indica que los campos producidos se hallan aún a órdenes de magnitud por debajo de los límites de seguridad. Por tanto, equipo



de telecomunicaciones tal como un emisor no intencional no necesita una evaluación de seguridad del EMF para asegurar la conformidad con los límites de seguridad.

Emisores intencionales: Los emisores intencionales utilizan campos electromagnéticos para la transmisión de señales. Producen un EMF que puede sobrepasar los límites de seguridad en algunas regiones, dependiendo de la potencia del funcionamiento, ganancia, frecuencia, orientación y directividad de la antena de transmisión. Es posible tener en cuenta estos parámetros y el entorno operativo de la instalación para determinar la necesidad y el procedimiento apropiado de evaluación de la exposición. Esta recomendación presenta un método de evaluación de riesgos basado en la clasificación de las zonas de exposición.

Zona de conformidad: En la zona de conformidad, la exposición potencial al EMF está por debajo de los límites aplicables a la exposición ocupacional/controlada y a la exposición no controlada del público en general.

Zona ocupacional: En la zona ocupacional, la exposición potencial al EMF está por debajo de los límites aplicables a la exposición controlada/ocupacional, pero sobrepasa los límites aplicables a la exposición no controlada del público en general.

Zona de rebasamiento: En la zona de rebasamiento, la exposición potencial al EMF sobrepasa los límites aplicables a la exposición controlada/ocupacional y a la exposición no controlada del público en general. En muchas instalaciones, la zona de rebasamiento y la zona ocupacional no son accesibles a las personas, y sólo son accesibles en circunstancias excepcionales, como cuando hay una persona de pie inmediatamente delante de la antena. El procedimiento de evaluación de riesgos presentado en esta Recomendación se ocupa sobre todo de la exposición del público en general, y de los operarios en el ejercicio de sus actividades normales.

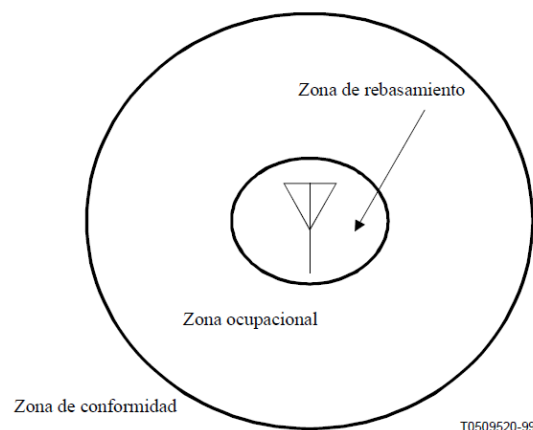


Figura 1. Zonas de exposición.

CATEGORÍA DE ACCESIBILIDAD	CIRCUNSTANCIAS DE LA INSTALACIÓN
1	<p>La antena está instalada en una torre inaccesible – el centro de radiación está a una altura h sobre el nivel del suelo. Existe la condición $h > 3$ m.</p> <p>La antena está instalada en una estructura públicamente accesible (por ejemplo, en un tejado) – el centro de radiación está a una altura h por encima de la estructura.</p>
2	<p>La antena está instalada al nivel del suelo – el centro de radiación está a una altura h sobre el nivel del suelo. Hay un edificio adyacente o una estructura accesible al público en general y, de una altura aproximada de h situado a una distancia d de la antena a lo largo de la dirección de propagación. Existe la condición $h > 3$ m.</p>
3	<p>La antena está instalada al nivel del suelo – el centro de radiación está a una altura h ($h > 3$ m) sobre el suelo. Hay un edificio adyacente o estructura accesible al público en general de aproximadamente h' situado a una distancia d de la antena a lo largo de la dirección de propagación.</p>
4	<p>La antena está instalada en una estructura a una altura h ($h > 3$ m). Hay una zona de exclusión asociada con la antena. Se definen dos geometrías para la zona de exclusión.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Una zona circular con un radio a rodea la antena - Una zona circular de tamaño $a \times b$ delante de la antena

Tabla 2. Categoría de accesibilidad de las fuentes de radiación.

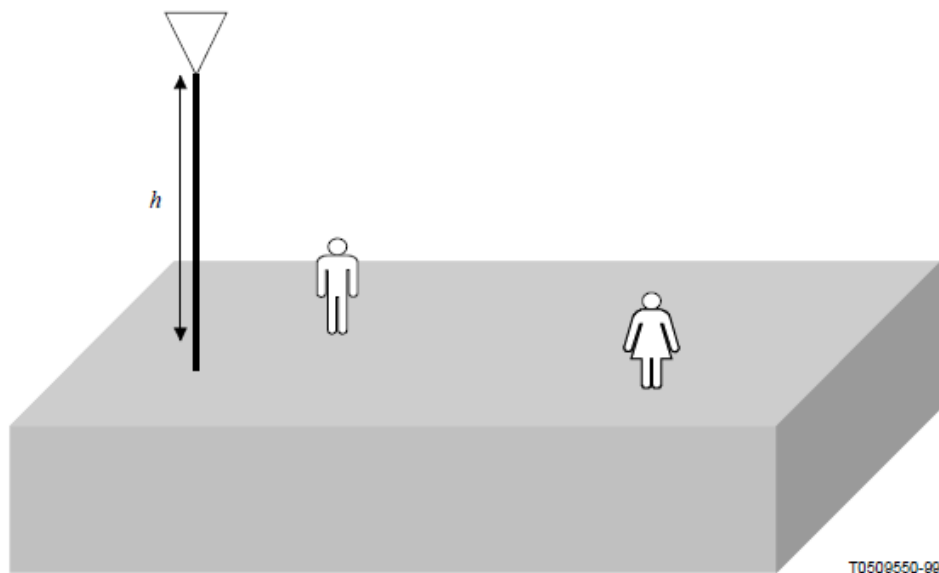


Figura 2. Categoría de accesibilidad 1.

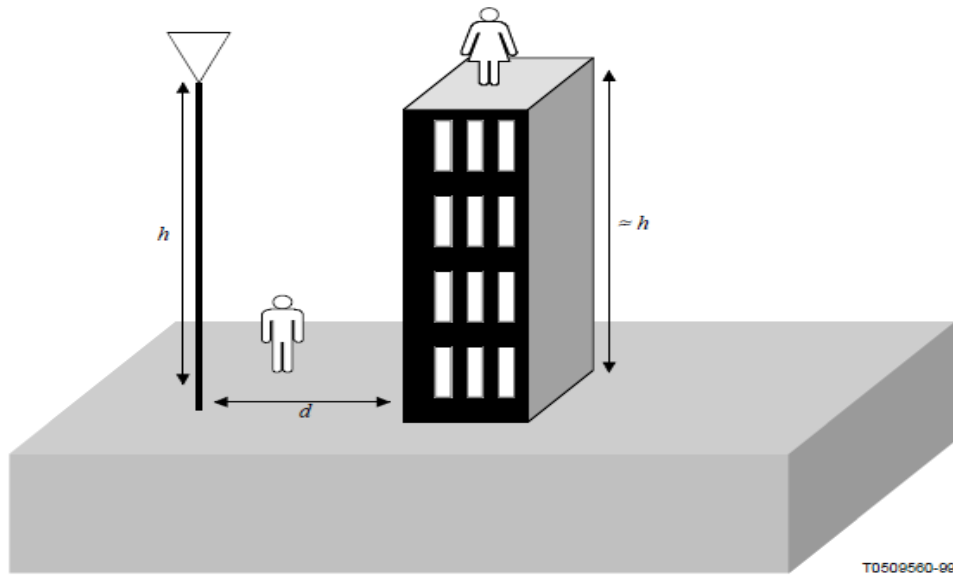


Figura 3. Categoría de accesibilidad 2.

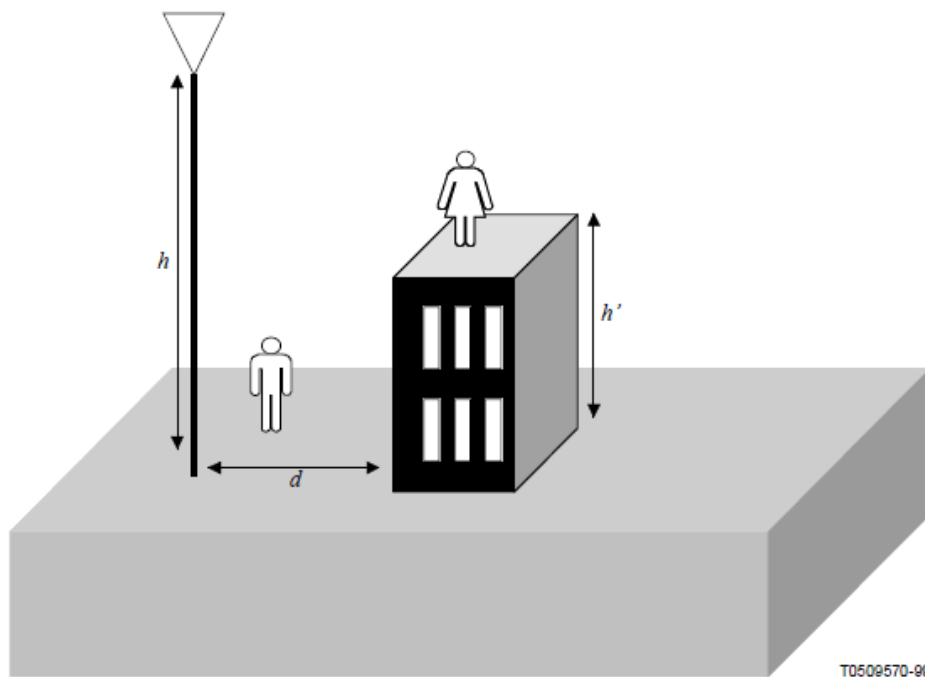


Figura 4. Categoría de accesibilidad 3.

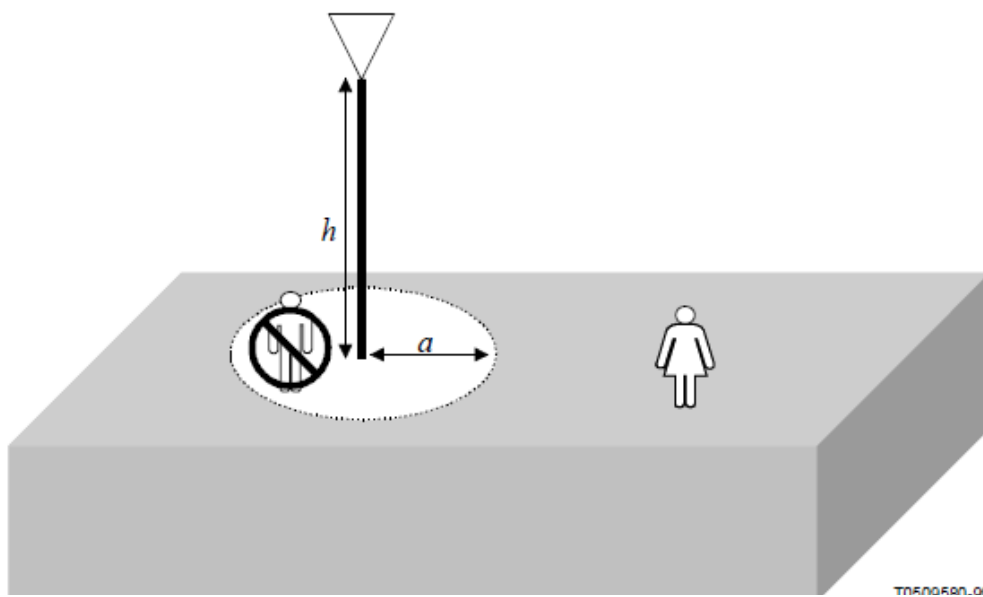


Figura 5. Categoría de accesibilidad 4 con zona de exclusión circular.

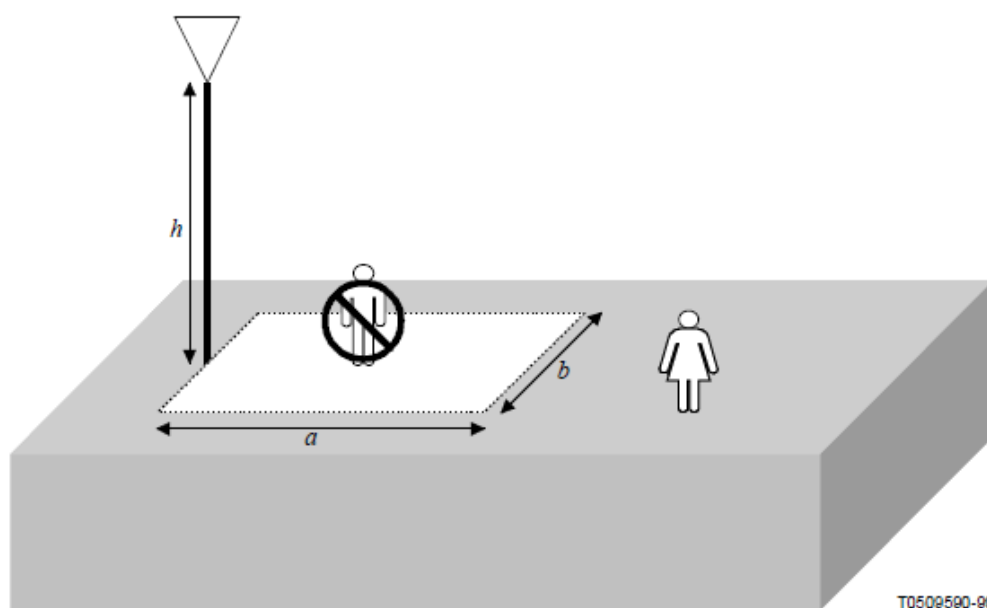


Figura 6. Categoría de accesibilidad 4 con zona de exclusión rectangular.



5.2. LIMITES DE EXPOSICIÓN

LIMITES DE REFERENCIA ICNIRP (VALORES EFICACES SIN PERTURBACIONES)						
Tipo de Exposición	Rango de frecuencias			Intensidad de campo eléctrico (V/m)	Intensidad de campo magnético (A/m)	Densidad de potencia de onda plana Eqvte. (w/m ²)
Ocupacional	0,000	1,000	Hz	-	2×10^5	-
	1,000	8,000	Hz	20000	$2 \times 10^5 / f^2$	-
	8,000	25,000	Hz	20000	$2 \times 10^4 / f$	-
	0,025	0,820	KHz	$500 / f$	$20 / f$	-
	0,820	65,000	KHz	610	24.4	-
	0,065	1,000	MHz	610	$1.6 / f$	-
	1,000	10,000	MHz	$610 / f$	$1.6 / f$	-
	10,000	400,000	MHz	61	0.16	10
	400,000	2000,000	MHz	$3f^{1/2}$	$0.008f^{1/2}$	$f/40$
	2,000	300,000	GHz	137	0.36	50
General	0,000	1,000	Hz	-	2×10^4	-
	1,000	8,000	Hz	10000	$2 \times 10^4 / f^2$	-
	8,000	25,000	Hz	10000	$5000 / f$	-
	0,025	0,800	KHz	$250 / f$	$4 / f$	-
	0,800	3,000	KHz	$250 / f$	5	-
	3,000	150,000	KHz	87	5	-
	0,150	1,000	MHz	87	$0.73 / f$	-
	1,000	10,000	MHz	$87 / f^{1/2}$	$0.73 / f$	-
	10,000	400,000	MHz	28	0.073	2
	400,000	2000,000	MHz	$1.375f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$	$f/200$
	2,000	300,000	GHz	61	0.16	10

NOTA 1: f es la frecuencia indicada en el rango de frecuencias.

NOTA 2: Para frecuencias entre 100 kHz y 10 GHz, el tiempo de promediación es de 6 minutos.

NOTA 3: Para frecuencias hasta 100 kHz, los valores de cresta pueden obtenerse multiplicando el valor Eficaz por $\sqrt{2}$ ($\approx 1,414$). Para impulsos de duración tp , la frecuencia equivalente aplicable debe calcularse como: $f = 1/(2tp)$.

NOTA 4: Entre 100 kHz y 10 MHz, los valores de cresta de las intensidades de campo se obtienen por Interpolación desde 1,5 veces la cresta a 100 MHz hasta 32 veces la cresta a 10 MHz. Para valores que sobrepasen 10 MHz, se sugiere que la densidad de potencia de onda plana equivalente de cresta, Promediada a lo largo de la anchura del impulso, no sobrepase 1000 veces el límite Seq, o que la intensidad de campo no sobrepase los niveles de exposición de intensidad de campo indicados en el cuadro.

NOTA 5: Para frecuencias superiores a 10 GHz, el tiempo de promediación es $68/f^{1.05}$ Minutos (f en GHz).

Tabla 3. Limites de exposición a CEM-NI propuestos por la ICNIRP

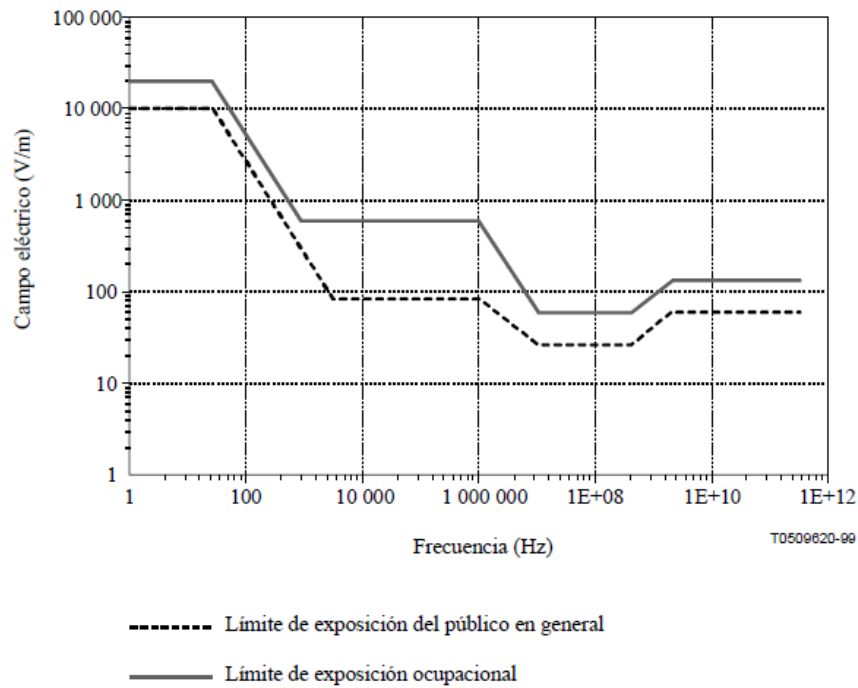


Figura 7. Niveles de intensidad de campo eléctrico ICNIRP

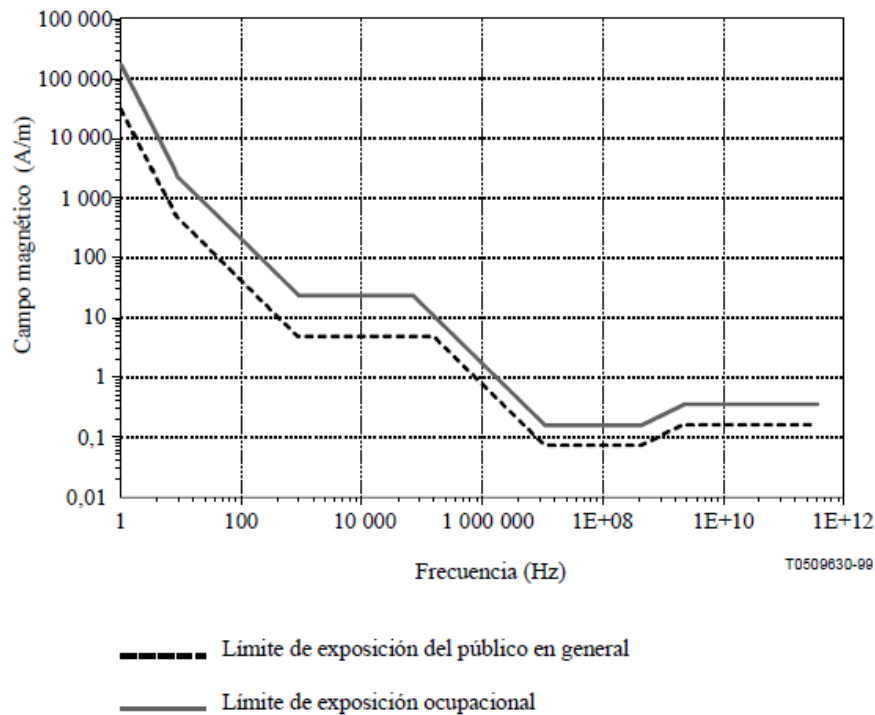


Figura 8. Niveles de intensidad de campo magnético ICNIRP



CÁLCULO DE DISTANCIAS MÍNIMAS PARA EL CUMPLIMIENTO DE LÍMITES DE EXPOSICIÓN		
RANGO DE FRECUENCIAS	EXPOSICIÓN DEL PÚBLICO EN GENERAL	
1-10 MHz	$r = 0.10\sqrt{PIRExf}$	$r = 0.129\sqrt{PERxf}$
10-400 MHz	$r = 0.319\sqrt{PIRE}$	$r = 0.409\sqrt{PER}$
400-2000 MHz	$r = 6.38\sqrt{PIRE/f}$	$r = 8.16\sqrt{PER/f}$
2000-3000 MHz	$r = 0.143\sqrt{PIRE}$	$r = 0.184\sqrt{PER}$
<p>r Es la mínima distancia a la antena o sistema irradiante en metros</p> <p>f Es la frecuencia de operación de la fuente en MHz</p> <p>PER Es la potencia radiada efectiva en la dirección de máxima ganancia de la antena, en vatios (w), para los casos de radiodifusión sonora en FM, la PER es equivalente a la PRA.</p> <p>$PIRE$ Es la potencia isotrópica radiada equivalente en la dirección de máxima ganancia de la antena, en vatios (w).</p>		
RANGO DE FRECUENCIAS	EXPOSICIÓN OCUPACIONAL	
1-10 MHz	$r = 0.0144xfx\sqrt{PIRE}$	$r = 0.0184xfx\sqrt{PER}$
10-400 MHz	$r = 0.143\sqrt{PIRE}$	$r = 0.184\sqrt{PER}$
400-2000 MHz	$r = 2.92\sqrt{PIRExf}$	$r = 3.74\sqrt{PERxf}$
2000-3000 MHz	$r = 0.0638\sqrt{PIRE}$	$r = 0.0819\sqrt{PER}$
<p>r Es la mínima distancia a la antena o sistema irradiante en metros</p> <p>f Es la frecuencia de operación de la fuente en MHz</p> <p>PER Es la potencia radiada efectiva en la dirección de máxima ganancia de la antena, en vatios (w), para los casos de radiodifusión sonora en FM, la PER es equivalente a la PRA.</p> <p>$PIRE$ Es la potencia isotrópica radiada equivalente en la dirección de máxima ganancia de la antena, en vatios (w).</p>		

Tabla 4. Cálculo de distancias mínimas para el cumplimiento de límites de exposición de la ANE.

Rango de Frecuencias	Campo Eléctrico (V/m)	Densidad de potencia (W/m ²)
9 – 150 kHz	21.75	-
0.1 – 1 MHz	21.75	-
1 – 10 MHz	$21.75f^{1/2}$	-
10 – 400 MHz	7	0.1
400 – 2000 MHz	$0.34f^{1/2}$	$f/3200$
2 – 300 GHz	15.25	0.6

Tabla 5. Límites de exposición a CEM-NI propuestos por la ANE



Exposición simultánea a múltiples fuentes: Para la exposición simultánea a fuentes de radiación electromagnética no ionizante a diferentes frecuencias, el cumplimiento de los límites de exposición se evalúa utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\sum_{i=1}^{1 \text{ MHz}} \frac{E_i}{E_{l,i}} + \sum_{i>1 \text{ MHz}}^{10 \text{ MHz}} \frac{E_i}{a} \leq 1$$

$$\sum_{j=1}^{1 \text{ MHz}} \frac{H_j}{H_{l,j}} + \sum_{j>1 \text{ MHz}}^{10 \text{ MHz}} \frac{H_j}{b} \leq 1$$

$$\sum_{i=100 \text{ KHz}}^{1 \text{ MHz}} \left(\frac{E_i}{c} \right)^2 + \sum_{i>1 \text{ MHz}}^{300 \text{ GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{l,i}} \right)^2 \leq 1$$

$$\sum_{j=100 \text{ KHz}}^{1 \text{ MHz}} \left(\frac{H_j}{d} \right)^2 + \sum_{j>1 \text{ MHz}}^{300 \text{ GHz}} \left(\frac{H_j}{H_{l,j}} \right)^2 \leq 1$$

E_i Es la intensidad del campo eléctrico correspondiente a la frecuencia f_i

$E_{l,i}$ Es el límite de referencia para la intensidad del campo eléctrico correspondiente a la frecuencia f_i

H_i Es la intensidad del campo magnético correspondiente a la frecuencia f_i

$H_{l,i}$ Es el límite de referencia para la intensidad del campo magnético correspondiente a la frecuencia f_i

$a = 610 \text{ V/m}$ para exposición ocupacional y 87 V/m para la exposición del público en general.

$b = 24.4 \text{ A/m}$ para exposición ocupacional y 5 A/m para la exposición del público en general.

$c = 610/f \text{ V/m}$ (f en MHz) para exposición ocupacional y $87/f^{1/2} \text{ V/m}$ para la exposición del público en general.

$d = 1.6/f \text{ A/m}$ (f en MHz) para exposición ocupacional y $0.73/f \text{ A/m}$ para la exposición del público en general.



5.3. INCERTIDUMBRES DE MEDICIÓN

Incertidumbre estándar: Es la incertidumbre del resultado de una medición expresado con la desviación estándar de dichas mediciones.

Evaluación tipo A de la incertidumbre: Método de evaluación de la incertidumbre por medio de análisis estadístico de las observaciones o mediciones realizadas.

Evaluación tipo B de la incertidumbre: método de evaluación de la incertidumbre por otros medios diferentes al análisis estadístico de las mediciones realizadas, por ejemplo: las características de los equipos de medición empleados.

Incertidumbre combinada estándar: La incertidumbre estándar combinada se define como la raíz cuadrada positiva de la suma de las varianzas o covarianzas de las mediciones al cuadrado, dichas varianzas o covarianzas de las mediciones, son ponderadas de acuerdo a como las medidas varíen con estas magnitudes.

Incertidumbre expandida: Cantidad que define un intervalo sobre el resultado de una medición que se puede esperar que abarque la mayor parte de los valores de distribución que podrían razonablemente ser atribuidos a las mediciones.

Errores sistemáticos: Son errores relacionados con la forma en la que se utiliza el instrumento de medida. Dentro de estos podemos distinguir otros como el error de calibrado o el error de paralaje.

Error de calibrado: Se trata de uno de los errores más frecuentes y está ligado directamente al instrumento. Muchos de ellos deben ser configurados de forma apropiada antes de ser utilizados (calibrado), si esto no se hace correctamente todas las medidas realizadas tendrán añadidas un sesgo.

Error de paralaje: Es propio de instrumentos de medida analógicos como por ejemplo aquellos que poseen agujas para marcar los valores. Dos observadores situados en posiciones oblicuas a la aguja pueden leer valores diferentes.

Errores aleatorios o accidentales: Se tratan de errores que se producen debido a causas que no se pueden controlar. Para intentar reducir el efecto de este tipo de errores se suele medir varias veces en las mismas condiciones y se considera como valor final más probable la media aritmética de los datos obtenidos.



PARÁMETRO	ECUACIÓN
Promedio	$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{N}$
Varianza	$\sigma^2 = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N}$ $s^2 = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N-1}$
Desviación estándar	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N}}$ $s = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N-1}}$
Covarianza	$cov(x, y) = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{n}$
Correlación lineal	$\rho(x, y) = \frac{cov(x, y)}{\sigma_x \sigma_y}$
Incertidumbre tipo A	$U_A = \frac{s}{\sqrt{n}}$
Incertidumbre tipo B	$U_B = \text{Especificaciones}$
Incertidumbre Combinada	$U_C = \sqrt{U_A^2 + U_{B1}^2 + U_{B2}^2 + \dots + U_n^2}$
Incertidumbre Expandida	$U_E = k * U_C$
Incertidumbre indirecta	$U_c(y)^2 = \sum_{i=1}^N [c_i U_E(x_i)]^2 + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N c_i c_j U_E(x_i) U_E(x_j) r(x_i, x_j)$

Tabla 6. Incertidumbres y datos estadísticos con sus respectivas ecuaciones.



6. DESARROLLO DEL PROYECTO DE GRADO

El objetivo planteado inicialmente consiste en la elaboración de protocolos para la medición de campos electromagnéticos no ionizantes de altas y bajas frecuencias. Dicha tarea se realizó una vez adquiridos los conceptos técnicos presentados en el marco teórico. Estos protocolos se aplicaron sobre una muestra de 10 hogares en la ciudad de Pereira durante 3 días de medición para verificar los niveles de exposición de sus habitantes a estos campos.

Los protocolos de medición y cálculo de incertidumbres de medición se encuentran en el Anexo 5, Anexo 6 y Anexo 7, correspondientes al protocolo de medición de CEM-NI de altas frecuencias, al protocolo de medición de CEM-NI de bajas frecuencias y al protocolo del Cálculo de incertidumbres.

Cabe mencionar que los equipos utilizados para el desarrollo de este trabajo fueron prestados por la Universidad Tecnológica de Pereira por medio de las debidas solicitudes formales establecidas para el préstamo de bienes devolutivos.



7. PROCESO DE SELECCIÓN DE LOS HOGARES

La finalidad de este trabajo plantea la verificación de los niveles de exposición a campos electromagnéticos no ionizantes de altas y bajas frecuencias a través de protocolos para su medición y su posterior análisis. Por ende, los hogares objeto de estudio deben tener como característica común el poseer fuentes cercanas de radiación electromagnética de alta y baja frecuencia como lo es la presencia de una torre de telecomunicaciones y de cableado de distribución eléctrica tanto externo como interno a la vivienda.

Se sabe que la mayoría de las casas en el área urbana de la ciudad de Pereira cuenta con cableado eléctrico para la distribución de electricidad en forma de corriente alterna de baja frecuencia (Específicamente de 60 Hz), lo cual implica que la mayor parte de las casas sean un potencial lugar objeto de estudio para verificación de los niveles de exposición de CEM – NI de bajas frecuencias. Sin embargo, para que una vivienda sea vulnerable a la radiación de CEM-NI de altas frecuencias debe estar dentro de la zona de Fresnel o zona radiante de una antena de telecomunicaciones, estación de radio o zona de radar y que estas antenas se encuentre a una distancia lo considerablemente cerca de la vivienda como para ser radiadas de una forma constante, pero lo suficientemente lejana como para que las ondas electromagnéticas se comporten como una onda plana, es decir, que el sitio objeto de estudio se encuentre en el campo lejano de la antena de emisión.

Dada las mayores demandas que debe tener una casa para que sea potencialmente vulnerable a la radiación electromagnética de alta frecuencia, el concepto bajo el cual se seleccionaron las 10 viviendas será el de su cercanía a una torre de telecomunicaciones.

Las torres de telecomunicaciones en Colombia operan bajo el sistema global de telecomunicaciones móviles, es decir, que su frecuencia de operación se encuentra en el rango de 800 a 900 MHz, lo que facilita el desarrollo de este trabajo al no tener que consultar directamente a los operarios de las antenas la frecuencia de operación de las torres. Aunque, más adelante se explicará como haciendo uso del equipo de medición AARONIA HF-6085 se puede conocer las frecuencias de CEM-NI de altas frecuencias presentes en el entorno cercano.

Las antenas poseen diferentes configuraciones a lo largo de la torre de telecomunicaciones y su orientación es un factor determinante para conocer el grado de incidencia de la emisión de las antenas sobre la vivienda. Entonces, una vez ubicadas las torres de telecomunicaciones se procede a escoger una vivienda en la dirección en la cual apuntan sus antenas.



Las coordenadas geográficas de las antenas y las direcciones de las 10 casas seleccionadas para el desarrollo de este trabajo se encuentran tipificadas en el anexo 4 de este trabajo correspondiente a los formatos de información.

Las ubicaciones geográficas de las antenas se visualizan en las siguientes imágenes satelitales:

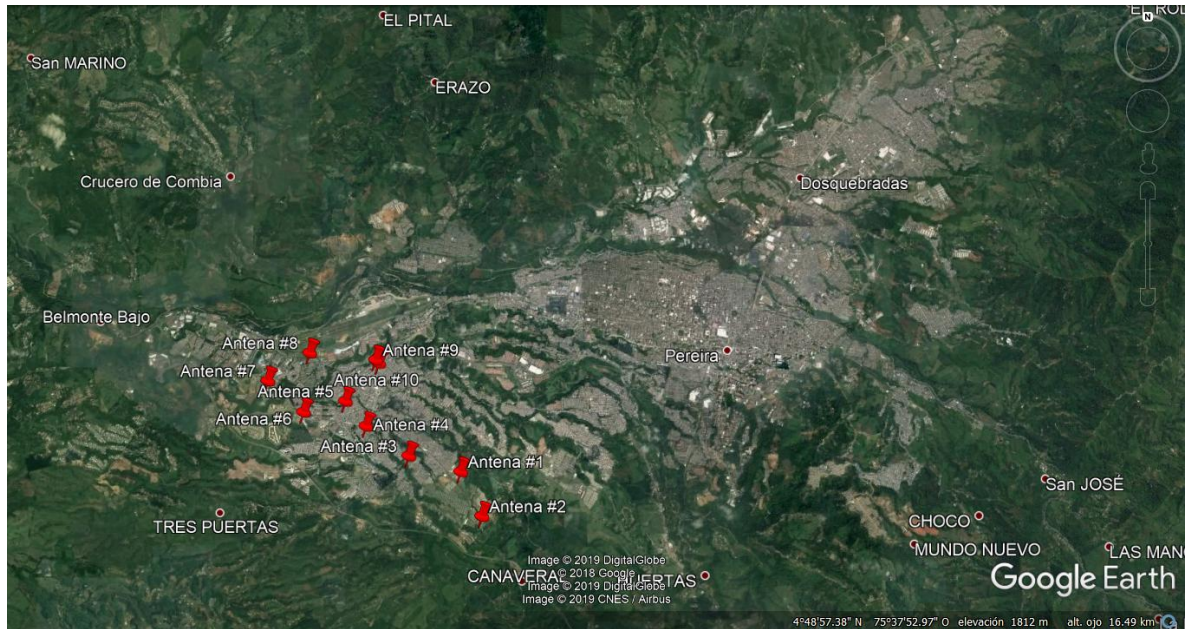


Figura 9. Imagen satelital 1 con la ubicación de las antenas de telecomunicaciones.



Figura 10. Imagen satelital 10 con la ubicación de las antenas de telecomunicaciones.

8. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN UTILIZADOS

La verificación de los niveles de exposición a campos electromagnéticos no ionizantes de altas y bajas frecuencias en los 10 hogares se llevó a cabo gracias a la utilización de los siguientes equipos de medición:

9.1 MEDIDOR DE CAMPO DE BANDA ANCHA NBM 520



Figura 11. NBM 520

El medidor de campo de banda ancha Narda NBM-520 es un dispositivo de mano muy compacto para medir campos eléctricos y magnéticos. La operación más simple posible con solo cuatro botones.

NBM-520 es parte de la familia de instrumentos NBM-500. Da resultados extremadamente precisos para las mediciones de la fuerza del campo electromagnético. El NBM-520, al igual que su contraparte más grande, NBM-550, maneja aplicaciones desde radiación de onda larga hasta radiación de microondas de alta frecuencia utilizando una selección de sondas intercambiables para campos eléctricos y magnéticos.

Las intensidades de campo se capturan con sondas de respuesta de frecuencia plana o sondas con respuesta de frecuencia configurada, lo que permite evaluar los valores de medición según un estándar ambiental o de seguridad laboral. Los factores de calibración para cada sonda se almacenan en la propia sonda y se leen y toman en cuenta automáticamente por el conjunto de medición.

9.2 PROBADOR DE NIVELES DE EXPOSICIÓN ELT 400



Figura 12. ELT 400

Instrumento de medición para evaluar la seguridad de la exposición humana a la radiación en campos magnéticos y para pruebas de aceptación de equipos operados eléctricamente según la norma CE IEC / EN 62233 (anteriormente EN 50366), la norma genérica IEC 62311, así como ICNIRP 1998 e ICNIRP 2010. Evaluación directa de la exposición de campo en comparación con las principales normas y regulaciones, como la Directiva EMF 2013/35 / UE para lugares de trabajo.

Aplicación: equipos domésticos y de oficina, automóviles nuevos con propulsión eléctrica y equipos de producción e instalaciones eléctricas que generan campos magnéticos fuertes. El instrumento puede realizar de forma simple y precisa todas las mediciones de campo B en el rango de frecuencia de 1 Hz a 400 kHz. Sin riesgo de errores de cálculo, se muestra directamente como un porcentaje del valor límite teniendo en cuenta automáticamente todos los componentes de frecuencia. El ELT-400 utiliza una sonda estándar de 100 cm² para esto.

9.3 ANALIZADOR DE ESPECTRO AARONIA NF-5010



Figura 13. AARONIA NF-5010

El Aaronia Spectran NF-5010 de 1Hz a 1MHz EMF de baja frecuencia NF-Spectrum-Analyzer se utiliza para medir campos eléctricos y magnéticos. Encuentra fuentes de radiación en su entorno con el NF5010, así como sus respectivas frecuencias e intensidades de señal, incluida la visualización directa de los límites de exposición. Esto solía ser imposible en esta categoría de precios, las unidades profesionales a menudo cuestan varios miles de dólares y son excesivamente complicadas de manejar. Los cálculos altamente complejos en el análisis de espectro. El cálculo del límite de exposición se realiza, sin ser detectado en el fondo, por un DSP (procesador de señales digitales) de alto rendimiento.

Los dispositivos de medición EMF profesionales a menudo utilizan un análisis de espectro de medición dependiente de la frecuencia. En un cierto rango de frecuencia, las señales individuales y sus respectivas potencias se están dividiendo, por ejemplo, en una pantalla de "gráfico de barras". La altura de las barras individuales representa la intensidad de señal correspondiente. Para las 3 fuentes de señal más fuertes, SPECTRAN® puede mostrar automáticamente la frecuencia y el nivel de la señal, gracias a su función "Marcador automático". El usuario también puede configurar el ancho del filtro y el rango de frecuencia a analizar.

Aaronia Spectran NF-5010 permite grabaciones a largo plazo de los resultados de las mediciones en un período de tiempo libremente ajustable. Esto es particularmente indispensable para una evaluación seria de la exposición por parte de aparatos y maquinaria que tienen un consumo de energía o una intensidad de radiación cambiantes a lo largo del tiempo. Los ejemplos de estos incluyen ferrocarriles, líneas eléctricas y plantas, pero también electrodomésticos y sus respectivos cables de alimentación, y varias instalaciones de transmisión de alta frecuencia como torres de transmisión de teléfonos móviles, radares, etc. Dependiendo de la hora del



día, una variación considerable de la exposición puede ocurrir. Sin grabaciones a largo plazo, puede producirse una interpretación errónea masiva de la exposición total. Con el registro de datos a largo plazo con SPECTRAN, se puede registrar y analizar la variación diaria de la exposición. Con esta funcionalidad,

La batería de alto rendimiento Aaronia NiMH se ha desarrollado específicamente para el dispositivo de espectro de espectro Aaronia NF-5010 y se adapta de manera óptima a sus requisitos. Gracias a la tecnología NiMH, el temido "Efecto de la memoria" ahora es cosa del pasado; La máxima calidad y larga vida han sido los objetivos principales de Aaronia cuando se trata de su línea de productos. Otra razón por la que es necesaria tal tecnología de batería es la alta demanda de potencia del DSP de alto rendimiento utilizado en todas las unidades SPECTRAN, especialmente en las versiones de RF, que además incluyen circuitos de recepción de RF muy exigentes.

El cálculo del límite de exposición solía ser un procedimiento complejo e incómodo debido a una mezcla caótica de una abundancia de diferentes frecuencias, modulaciones y potencias de señal enumeradas.

El cálculo indispensable y altamente complejo de los límites de exposición dependientes de la frecuencia solo puede realizarse de acuerdo con los estándares mediante un analizador de espectro con software de alto rendimiento. No es un problema para las unidades SPECTRAN®: pueden calcular incluso varios límites de exposición autorizados, límites de precaución y recomendaciones (simplemente seleccionables mediante un botón) y mostrarlos como una práctica visualización de gráfico de barras o visualización de porcentaje de convergencia, mientras se realiza la medición.

Al presionar un botón, el límite de exposición de ICNIRP se ha elegido entre los diversos límites de exposición disponibles. Aaronia Spectran NF5010 calcula automáticamente la convergencia o el exceso de este límite. Para lograr esto, a menudo se deben realizar miles de cálculos complejos por segundo, y se debe realizar una exploración constante de todo el rango de frecuencias.

9.4 ANALIZADOR DE ESPECTRO AARONIA HF-6085



Figura 14. AARONIA HF -6085

El Aaronia HF6085 Spectran V4 Handheld RF Spectrum Analyzer 10 MHz-8 GHz mide el rango de frecuencia 10 MHz - 8 GHz. Detecta las fuentes de interferencia, determina la frecuencia e intensidad de las fuentes de señal y mide los límites. Estas unidades elegantes, ligeras y portátiles son analizadores de espectro con todas las funciones. Los analizadores de espectro portátiles son ideales para cualquier persona que realice pruebas y mediciones de RF y EMF sobre la marcha, incluido el seguimiento de interferencias, el estudio del sitio, las pruebas de conformidad y la instalación inalámbrica. Los analizadores de espectro HF 6085 se pueden usar como unidades de mano independientes, o junto con nuestras versiones de software de analizador de espectro.

El software del analizador de espectro "MCS" para PC, MAC o Linux transforma el HF 6085 en una potente solución de medición con excelentes características (por ejemplo, grabación, visualización de múltiples ventanas, histograma, diagrama de cascada, número ilimitado de marcadores, visualización de límites mejorados). La conexión vía USB funciona en tiempo real.

NOTA: Las características técnicas de los instrumentos de medición se encuentran en su hoja de datos (fácilmente accesible en internet) y en el Anexo 4 de este informe correspondiente a los formatos de información.



9. PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE CEM –NI

La verificación de los niveles de exposición a campos electromagnéticos no ionizantes de altas y bajas frecuencias en cada una de las 10 casas seleccionadas para esta tarea se ejecutó llevando a cabo los siguientes pasos:

- 1) Captura de información: Antes de realizar cualquier tipo de medición se anotaron los datos personales de los propietarios de la vivienda, datos como: la dirección de residencia, número de identificación, dirección de la vivienda, etc. Fueron consignados en los formatos de información que se encuentran en el Anexo 4 de este informe. además, estos formatos poseen la ubicación geográfica de las antenas, el tipo de exposición (sea ocupacional o público en general), la conformidad frente al grado de vulnerabilidad hacia la radiación electromagnética de alta y baja frecuencia, el nombre de los encargados en el proceso de medición y observaciones generales.
- 2) Diagrama arquitectónico: Utilizando la cinta métrica se procede a tomar las medidas de los muros que enmarcan los límites de la vivienda y cada una de sus habitaciones. Esto con el fin de realizar un diagrama arquitectónico de la vivienda y establecer la ubicación de los posibles puntos de medida para realizar el mapeo espacial del campo magnético de baja frecuencia (50-60 Hz), la lectura del campo eléctrico, intensidad de campo magnético y densidad de potencia para CEM-NI de alta frecuencia (800 MHz). Estos esquemas se encuentran en el Anexo 2 de este informe correspondiente a los Diagramas Arquitectónicos.
- 3) Analizadores de espectro: Una vez establecidos los puntos de medición, se elige un punto en el cual se maximice la visualización del área de la vivienda, con el fin de utilizar los analizadores de espectro para CEM-NI de altas y bajas frecuencias (AARONIASPECTRAM HF-6085 Y NF-5010 respectivamente) para conocer las frecuencias dominantes y la estabilidad temporal de los campos eléctricos y magnéticos presentes en el lugar, y poder configurar los equipos de medición de banda ancha NBM 520 y ELT 400 conforme a estas frecuencias dominantes y fluctuaciones observadas en el espectro electromagnético. Las lecturas de estos dispositivos se encuentran en el Anexo 1 de este informe correspondiente a las mediciones.
- 4) Mapeo de campo magnético de baja frecuencia: Con el equipo de medición Narda ELT – 400 se toman 4 medidas del campo magnético de baja frecuencia por cada punto de medición ubicado sobre toda el área superficial de la vivienda. Estos puntos se encuentran equidistantes



a 1 metro tanto en las direcciones verticales como en las direcciones horizontales, además, las lecturas se realizaron a 1 metro de altura tal y como lo establece el protocolo diseñado en el anexo 6 de este informe. Cabe mencionar que las lecturas presentes en el anexo 1 se usa el promedio de las 4 lecturas por punto de medición realizadas.

- 5) Medición CEM-NI de alta frecuencia: con el equipo de medición Narda NBM 520 se realizan 4 lecturas del campo eléctrico, la intensidad de campo magnético y la densidad de potencia sobre un mismo punto ubicado en el centro de cada habitación, ya que los campos electromagnéticos de alta frecuencia no varían de forma considerable en intervalos distantes relativamente cortos (como lo es el caso de unos pocos metros). Se debe tener en cuenta que para la medición del campo eléctrico y campo magnético se deben utilizar las sondas correspondientes en el equipo NBM 520. el promedio de estas lecturas en cada uno de estos puntos se encuentran consignados en el Anexo 1 de este informe.
- 6) Una vez realizadas todas las mediciones se procede a repetir el procedimiento anteriormente mencionado en otra vivienda seleccionada.



10. PROCESAMIENTO DE DATOS

El procesamiento de las lecturas realizadas sobre campos electromagnéticos no ionizantes de altas y bajas frecuencias en los 10 hogares consistió en el cálculo de las incertidumbres probabilísticas e instrumentales de dichas lecturas. Este procedimiento se detalla en el protocolo diseñado para el cálculo de incertidumbres correspondiente al Anexo 7 de este documento.

La incertidumbre probabilística se halla con la incertidumbre de tipo A, donde se relaciona las variaciones en las medidas con su correspondiente desviación estándar. Para las incertidumbres de carácter instrumental, es decir, las fluctuaciones en los valores debido a los instrumentos de medición utilizados se usan las características de exactitud y resolución de los equipos. Estos mostrados en su hoja de datos. Para el medidor de campos Narda NBM 520, el probador de niveles de exposición Narda ELT-400 y los analizadores de espectro AARONIA NF-5010 Y HF-6085 se tienen los valores de exactitud de 2%, 4%, 3% y $\pm 2\text{dB}$ respectivamente. La resolución de estos equipos se evidencia en las lecturas presentes en el Anexo 1 de este informe correspondiente a las mediciones.

Es importante aclarar que las mediciones que fueron sometidas a un procesamiento matemático fueron las medidas única y exclusivamente realizadas con los equipos Narda NBM-520 y ELT-400, ya que los analizadores de espectro cumplen la tarea de dar una prueba de orientación acerca de las frecuencias y magnitudes de los campos electromagnéticos presentes en el lugar y poder así ajustar los equipos Narda conforme a estas observaciones.

Una vez promediadas las mediciones y calculadas sus respectivas incertidumbres, los datos se grafican en contraste con los niveles permitidos de exposición para observar claramente la cercanía de las lecturas con respecto a los límites establecidos por reglamentaciones nacionales o internacionales como la ANE, la ICNIRP 2010 y el Código de seguridad Canadiense del 2015 para canales de radiofrecuencia.

Como tarea adicional, es decir, fuera de los objetivos de este informe se realizó un programa el cual resume todo el procesamiento de datos, el mapeo del campo magnético de baja frecuencia y la muestra de evidencias, este programa se encuentra en el Anexo Programa de este informe.



11. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La tasa de exposición o Exposition Rate (ER), es una medida que indica el grado de exposición a campos electromagnéticos no ionizantes y se expresa de manera porcentual, un porcentaje menor a 100% indica que las lecturas se encuentran por debajo del límite establecido y un porcentaje mayor a 100% indica que las lecturas han rebasado el límite establecido. En la siguiente tabla se muestran los valores máximos permitidos para las variables electromagnéticas analizadas y la normatividad de la cual fueron obtenidos.

VARIABLE	VALOR LÍMITE	NORMATIVIDAD
Campo Magnético B 50-60 Hz	200 μ T	ICNIRP 2010 General Public
Campo Eléctrico E 880 MHz	31.03 V/m	Safety Code 6 Uncontrolled
Campo Magnético H 880 MHz	82.35 mA/m	Safety Code 6 Uncontrolled
Densidad de potencia I 880 MHz	2.557 W/m ²	Safety Code 6 Uncontrolled

Tabla 7. Límites de exposición utilizados para la verificación de los niveles de exposición a CEM – NI de altas y bajas frecuencias.

11.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS CASA 1

La tasa de exposición promedio para los campos electromagnéticos de baja frecuencia en la casa 1 corresponde a 57.61%, lo cual indica que el nivel de radiación a campos magnéticos variables de 50-60 Hz se encuentra por debajo del límite establecido por la normatividad ICNIRP 2010 para el público en general.

Según la tabla 1 del marco teórico la tasa de exposición para el campo eléctrico y el campo magnético de altas frecuencias se halla de manera conjunta, y según los resultados de la casa 1, presentes en el Anexo 1 de este informe, se obtiene una tasa de exposición promedio de 52.24% lo cual indica que el nivel de radiación a campos electromagnéticos de 880 MHz se encuentra por debajo del límite establecido por el código de seguridad 6 Canadiense para la exposición a canales de radiofrecuencia

11.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS CASA 2

La tasa de exposición promedio para los campos electromagnéticos de baja frecuencia en la casa 2 corresponde a 82.34%, lo cual indica que el nivel de radiación a campos magnéticos variables de 50-60 Hz se encuentra por debajo del límite establecido por la normatividad ICNIRP 2010 para el público en general.

Según la tabla 1 del marco teórico la tasa de exposición para el campo eléctrico y el campo magnético de altas frecuencias se halla de manera conjunta, y



según los resultados de la casa 2, presentes en el Anexo 1 de este informe, se obtiene una tasa de exposición promedio de 94.06% lo cual indica que el nivel de radiación a campos electromagnéticos de 880 MHz se encuentra por debajo del límite establecido por el código de seguridad 6 Canadiense para la exposición a canales de radiofrecuencia.

11.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS CASA 3

La tasa de exposición promedio para los campos electromagnéticos de baja frecuencia en la casa 3 corresponde a 70.20%, lo cual indica que el nivel de radiación a campos magnéticos variables de 50-60 Hz se encuentra por debajo del límite establecido por la normatividad ICNIRP 2010 para el público en general.

Según la tabla 1 del marco teórico la tasa de exposición para el campo eléctrico y el campo magnético de altas frecuencias se halla de manera conjunta, y según los resultados de la casa 3, presentes en el Anexo 1 de este informe, se obtiene una tasa de exposición promedio de 55.69% lo cual indica que el nivel de radiación a campos electromagnéticos de 880 MHz se encuentra por debajo del límite establecido por el código de seguridad 6 Canadiense para la exposición a canales de radiofrecuencia.

11.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS CASA 4

La tasa de exposición promedio para los campos electromagnéticos de baja frecuencia en la casa 4 corresponde a 65.32%, lo cual indica que el nivel de radiación a campos magnéticos variables de 50-60 Hz se encuentra por debajo del límite establecido por la normatividad ICNIRP 2010 para el público en general.

Según la tabla 1 del marco teórico la tasa de exposición para el campo eléctrico y el campo magnético de altas frecuencias se halla de manera conjunta, y según los resultados de la casa 4, presentes en el Anexo 1 de este informe, se obtiene una tasa de exposición promedio de 56.56% lo cual indica que el nivel de radiación a campos electromagnéticos de 800 MHz se encuentra por debajo del límite establecido por el código de seguridad 6 Canadiense para la exposición a canales de radiofrecuencia.



11.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS CASA 5

La tasa de exposición promedio para los campos electromagnéticos de baja frecuencia en la casa 5 corresponde a 60.80%, lo cual indica que el nivel de radiación a campos magnéticos variables de 50-60 Hz se encuentra por debajo del límite establecido por la normatividad ICNIRP 2010 para el público en general.

Según la tabla 1 del marco teórico la tasa de exposición para el campo eléctrico y el campo magnético de altas frecuencias se halla de manera conjunta, y según los resultados de la casa 5, presentes en el Anexo 1 de este informe, se obtiene una tasa de exposición promedio de 42.28% lo cual indica que el nivel de radiación a campos electromagnéticos de 880 MHz se encuentra por debajo del límite establecido por el código de seguridad 6 Canadiense para la exposición a canales de radiofrecuencia.

11.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS CASA 6

La tasa de exposición promedio para los campos electromagnéticos de baja frecuencia en la casa 6 corresponde a 57.13%, lo cual indica que el nivel de radiación a campos magnéticos variables de 50-60 Hz se encuentra por debajo del límite establecido por la normatividad ICNIRP 2010 para el público en general.

Según la tabla 1 del marco teórico la tasa de exposición para el campo eléctrico y el campo magnético de altas frecuencias se halla de manera conjunta, y según los resultados de la casa 6, presentes en el Anexo 1 de este informe, se obtiene una tasa de exposición promedio de 51.72% lo cual indica que el nivel de radiación a campos electromagnéticos de 880 MHz se encuentra por debajo del límite establecido por el código de seguridad 6 Canadiense para la exposición a canales de radiofrecuencia.

11.7. ANÁLISIS DE RESULTADOS CASA 7

La tasa de exposición promedio para los campos electromagnéticos de baja frecuencia en la casa 7 corresponde a 81.76%, lo cual indica que el nivel de radiación a campos magnéticos variables de 50-60 Hz se encuentra por debajo del límite establecido por la normatividad ICNIRP 2010 para el público en general.

Según la tabla 1 del marco teórico la tasa de exposición para el campo eléctrico y el campo magnético de altas frecuencias se halla de manera conjunta, y según los resultados de la casa 7, presentes en el Anexo 1 de este informe, se obtiene una tasa de exposición promedio de 88.28% lo cual indica que el nivel de radiación a campos electromagnéticos de 880 MHz se encuentra por debajo



del límite establecido por el código de seguridad 6 Canadiense para la exposición a canales de radiofrecuencia.

11.8. ANÁLISIS DE RESULTADOS CASA 8

La tasa de exposición promedio para los campos electromagnéticos de baja frecuencia en la casa 8 corresponde a 69.80%, lo cual indica que el nivel de radiación a campos magnéticos variables de 50-60 Hz se encuentra por debajo del límite establecido por la normatividad ICNIRP 2010 para el público en general.

Según la tabla 1 del marco teórico la tasa de exposición para el campo eléctrico y el campo magnético de altas frecuencias se halla de manera conjunta, y según los resultados de la casa 8, presentes en el Anexo 1 de este informe, se obtiene una tasa de exposición promedio de 56.26% lo cual indica que el nivel de radiación a campos electromagnéticos de 880 MHz se encuentra por debajo del límite establecido por el código de seguridad 6 Canadiense para la exposición a canales de radiofrecuencia.

11.9. ANÁLISIS DE RESULTADOS CASA 9

La tasa de exposición promedio para los campos electromagnéticos de baja frecuencia en la casa 9 corresponde a 64.82%, lo cual indica que el nivel de radiación a campos magnéticos variables de 50-60 Hz se encuentra por debajo del límite establecido por la normatividad ICNIRP 2010 para el público en general.

Según la tabla 1 del marco teórico la tasa de exposición para el campo eléctrico y el campo magnético de altas frecuencias se halla de manera conjunta, y según los resultados de la casa 9, presentes en el Anexo 1 de este informe, se obtiene una tasa de exposición promedio de 54.36% lo cual indica que el nivel de radiación a campos electromagnéticos de 880 MHz se encuentra por debajo del límite establecido por el código de seguridad 6 Canadiense para la exposición a canales de radiofrecuencia.



11.10. ANÁLISIS DE RESULTADOS CASA 10

La tasa de exposición promedio para los campos electromagnéticos de baja frecuencia en la casa 10 corresponde a 59.68%, lo cual indica que el nivel de radiación a campos magnéticos variables de 50-60 Hz se encuentra por debajo del límite establecido por la normatividad ICNIRP 2010 para el público en general.

Según la tabla 1 del marco teórico la tasa de exposición para el campo eléctrico y el campo magnético de altas frecuencias se halla de manera conjunta, y según los resultados de la casa 10, presentes en el Anexo 1 de este informe, se obtiene una tasa de exposición promedio de 12.38% lo cual indica que el nivel de radiación a campos electromagnéticos de 880 MHz se encuentra por debajo del límite establecido por el código de seguridad 6 Canadiense para la exposición a canales de radiofrecuencia.

11.11. TABLA DE RESULTADOS

En la siguiente tabla se encuentran las tasas de exposición encontradas en cada una de las casas objeto de estudio.

	Baja frecuencia 50-60 Hz	Alta frecuencia 880 MHz			Alta frecuencia 880 MHz promedio
ER [%] por casa	B[uT]	E[V/m]	H [A/m]	S [W/m^2]	Promedio Tasas de exposición AF
ER [%] Casa 1	57,61%	53,66%	53,66%	49,41%	52,24%
ER [%] Casa 2	82,34%	97,05%	97,05%	88,07%	94,06%
ER [%] Casa 3	70,20%	56,99%	56,99%	53,07%	55,69%
ER [%] Casa 4	65,32%	58,20%	58,20%	53,29%	56,56%
ER [%] Casa 5	60,80%	43,33%	43,33%	40,18%	42,28%
ER [%] Casa 6	57,13%	52,79%	52,79%	49,58%	51,72%
ER [%] Casa 7	81,76%	91,01%	91,01%	82,83%	88,28%
ER [%] Casa 8	69,80%	57,48%	57,48%	53,81%	56,26%
ER [%] Casa 9	64,82%	55,68%	55,68%	51,53%	54,30%
ER [%] Casa 10	59,68%	12,78%	12,78%	11,58%	12,38%

Tabla 8. Tasas de exposición para CEM-NI de alta y baja frecuencia para cada una de las casas objeto de estudio.



12. CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

Los niveles de exposición a campos electromagnéticos no ionizantes de altas y bajas frecuencias deberían ser constantemente monitoreados en los ambientes domésticos de las grandes ciudades o cabeceras municipales de Colombia. Ya que la creciente demanda en los sectores energéticos y de telecomunicaciones implica el aumento en las redes de distribución y torres de radiofrecuencia, así, el riesgo potencial de ser perjudicados por la constante radiación electromagnética es cada vez mayor.

En la muestra seleccionada de 10 hogares se concluye que los niveles de exposición a campos electromagnéticos tanto de bajas como de altas frecuencias están por debajo de los límites recomendados por la normatividad ICNIRP 2010 y el código de seguridad 6 para radiofrecuencia del 2015. Lo cual indica que no existe riesgo potencial alguno para las personas que habitan en estos lugares. Sin embargo, las casas 2 y 7 que presentan una alta tasa de exposición cercana al 100 % para campos electromagnéticos en el orden de 880 MHz, no presentan un alto riesgo para la integridad de las personas. Pero, si se constituye una alerta temprana para la futura mitigación de estos campos por medio de apantallamiento con materiales aislantes.

Para el mapeo de campos magnéticos de baja frecuencia (50-60 Hz) se recomienda utilizar la mayor cantidad de puntos de medición posibles, esto con el fin de evitar la interpolación de valores en el mapeo digital y la aparición de datos virtuales que no correspondan con las medidas hechas en la realidad.



13. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Beatriz Ramírez Ceballos, Sandra Ruiz Tovar. (2014). verificación y certificación de niveles de intensidad de campos electromagnéticos no ionizantes en ambientes familiares (tesis de pregrado). Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira.
- [2] Brahyan Andrés duque Hernández. (2016). verificación y certificación de niveles de intensidad de CEM-NI en el rango de telefonía celular con base en la norma UIT – TK52 (tesis de pregrado). Universidad tecnológica de Pereira, Pereira.
- [3] COLOMBIA. MINISTERIO DE COMUNICACIONES, «Resolución 001645 (29, julio, 2005). Por la cual se Reglamenta el Decreto 195 de 2005,» Bogotá D.C., 2005.
- [4] Comisión Europea. (27 de Enero de 2015). Potential health effects of exposure to electromagnetic fields. Recuperado el 02 de Abril de 2018, de https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenih_r_o_041.pdf.
- [5] E. Alonso Fustel, R. García Vázquez y C. Onaindia Olalde, «Campos electromagnéticos y efectos en salud,» Subdirección De Salud Pública De Biskaia, p. 70, 2011.
- [6] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), Norma Técnica Colombiana GTC 51: Guía para la expresión de incertidumbre en las mediciones, 1997.
- [7] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), «Recomendaciones para limitar la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (hasta 300 GHz),» 1998. [En línea]. Available: <http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdlesp.pdf>. [Último acceso: 21 Noviembre 2016].
- [8] J. Schüz. (2008, Diciembre 01). Radiation Protection Dosimetry. Retrieved Abril 02, 2018, from <https://academic.oup.com/rpd/article/132/2/202/1611516>
- [9] Martin Pall, P. (19 de Enero de 2016). Electromagnetic Field Exposure - The Cellular Effect on Humans. Recuperado el 01 de Abril de 2018, de <https://www.youtube.com/watch?v=w8ATQF8omdl>.



[10] Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT (UIT-T), Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos. Recomendación UIT-T K.52, 3 ed., 2014, p. 46.

[11] Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT (UIT-T), Directrices sobre la medición y la predicción numérica de los campos electromagnéticos para comprobar que las instalaciones de telecomunicaciones cumplen los límites de exposición de las personas. Recomendación UIT-T K.61, 2 ed., 2008, p. 30.